

Z HISTORIE VÝROBY ODLITKŮ Z TVÁRNÉ LITINY VE SLÉVÁRNÁCH PILSEN STEEL

J. JAKUB¹, P. TÁZLER², S. BROTÁNEK³, J. HUČKA⁴

ABSTRAKT: V práci je popsán technologický a metalurgický vývoj výroby tvárné litiny ve společnosti PILSEN STEEL (bývalá ŠKODA, HUTĚ, Plzeň, s.r.o.). Důraz je kladen na vývoj technologie modifikačního zpracování taveniny. Závěrem je krátce shrnut současný stav a výrobní program společnosti.

1 VÝVOJ TECHNOLOGIE VÝROBY TVÁRNÉ LITINY VE SVĚTĚ

V letošním roce uplynulo 60 let od vynálezu tvárné litiny (litiny s kuličkovým grafitem) jako materiálu k výrobě odlitků. Od té doby se tvárná litina velmi rozšířila a v současnosti tvoří její podíl ve světovém měřítku více než 20% celkové výroby odlitků. Odlitky z tvárné litiny nahradily nejen některé odlitky ze šedé nebo temperované litiny, ale také některé ocelové odlitky, výkovky nebo svařence. Velkého zvratu bylo dosaženo ve stavbě potrubí, kde původní těžké trouby ze šedé litiny byly nahrazeny odstředivě litými tenkostěnnými odlitky z litiny tvárné. Specifické bylo použití odlitků z tvárné litiny místo ocelových výkovků na automobilové klikové hřídele.

Právem byl proto vznik tvárné litiny považován a hodnocen jako jeden z největších úspěchů metalurgie dvacátého století. Tradičním, nejlevnějším a proto nejpoužívanějším materiálem k výrobě odlitků do současné doby je šedá litina. Její velkou nevýhodou je však nízká pevnost v tahu a značná křehkost. Je to způsobeno grafitem, který je ve struktuře vyloučen v nepříznivém tvaru lupínek. Protože grafit nepřenáší tahové napětí, značně zeslabuje nosný průřez základní kovové hmoty a působí i vrubovým účinkem.

Staleté snahy, aby tato málo pevná a značně křehká šedá litina získala vyšší pevnost v tahu a houževnatost, byly velmi dlouho neúspěšné. Prvním větším úspěchem byla výroba temperované litiny, kdy se dlouhodobým žháním odlitků z bílé litiny za vysoké teploty (temperováním) získal příznivější kompaktní tvar grafitu a tím se dosáhlo zvýšení pevnosti i houževnatosti litiny. Tento způsob byl však omezen jen na drobné a tenkostěnné odlitky. Ovládnout tvar grafitu a získat jeho příznivější tvar již v litém stavu se podařilo až před druhou světovou válkou, kdy v roce 1938 podal C.Adley patent na litinu s kulovitě vyloučeným grafitem pomocí bázičky upravené strusky a vysokými tavicími teplotami. V roce 1943 poukázal O.Smaley na možnost změnit tvar grafitu až na kulovitý kombinovanou přísadou teluru a hořčíku nebo vápníku do tekuté litiny.

Ale až po těchto ojedinělých pokusech se to podařilo teprve později spolehlivým způsobem. Podrobný výzkum přinesl úspěch práce Angličanů H.Morrougha a H.J.Williamse, kteří navrhli roku 1946 výrobu litiny nadeutektického složení s kulovitým grafitem v litém stavu přísadou ceru. Následujícího roku Američané K.D.Millis, A.P.Gangebin a N.P.Pilling přihlásili k patentování výrobu litiny přísadou hořčíku [1].

¹ Josef Jakub - PILSEN STEEL s.r.o.

² Petr Tázler - PILSEN STEEL s.r.o.

³ Stanislav Brotánek - PILSEN STEEL s.r.o.

⁴ Ing. Jan Hučka - PILSEN STEEL s.r.o.

Pozdější praxe ukázala, že nejvhodnější a univerzálnější způsob (hlavně pro podeutektickou litinu) je použití kombinovaného metalurgického zpracování taveniny, a to modifikační s karbidotvorným účinkem (čistý Mg nebo jeho slitiny) a očkovací s účinkem grafitizačním (FeSi). V praxi se pak ustálila buď modifikace jednostupňová, tj. modifikátor současně s očkovadlem, když se z modifikační pánve také odlévá, nebo dvoustupňová, když po modifikaci se očkuje při přelévání do lící pánve.

Kulovitý tvar grafitu v tvárné litině podstatně méně porušuje základní kovovou hmotu struktury litiny. U tvárné litiny se tak spojily přednosti litiny (nižší teplota tání, dobrá slévateľnost) a oceli (vyšší pevnost a houževnatost), což spolu s dalšími příznivými technologickými a užitnými vlastnostmi a poměrně nízkou cenou i dobrou dostupností výroby otevřely tomuto materiálu cestu ke značnému rozšíření.

První zkoušky výroby tvárné litiny v Československu začaly již koncem čtyřicátých a začátkem padesátých let. Prováděly je podniky ČKD Praha, ŠKODA Plzeň (od roku 1949), SVIT Gottwaldov, Vítkovické železářny, TOS Kuřim a ŽOS Plzeň.

2 VÝVOJ TVÁRNÉ LITINY V PODNIKU ŠKODA PLZEŇ

Jedním z prvních, kdo se v podniku ŠKODA Plzeň začal věnovat tvárné litině, byl N.Chvorinov[2], který se zabýval výzkumem litin již v předválečných letech. První zkoušky s výrobou tvárné litiny v laboratorních podmínkách začaly v druhé polovině roku 1949, kdy byl získán k modifikaci ferocer [3], byly také zkoušeny slitiny hořčíku. Litina byla tavena v kuplovnách o průměru 850mm s pevným předpecím; základem kovové vsázky bylo hematitové surové železo. Zkoušelo se odsíření litiny a modifikace slitinami hořčíku typů CuMg, CaSiMg a CuCaSiMg různého složení [4].

Již v roce 1951 byla vydána podniková norma se základními údaji ve stavu žíhaném a nežíhaném. Ve stavu žíhaném byla předepsána pevnost v tahu 400- 600MPa a tažnost min. 6%.

Na základě dosažených výsledků došlo ke změnám v metalurgii. A od roku 1952 bylo ve vsázce používáno 70% hematitového surového železa a 30% drobných kokilových zlomků.

Ke zvýšení teploty se pro tvárnou litinu snížila hmotnost kovové vsázky z 500kg na 400kg a zvýšilo množství vsázkového koksu. Používala se pánve o obsahu 1900kg s bázickou vyzdívkou, do níž se napouštělo cca 1000kg litiny. Na dno předehřáté pánve se dalo jako odsiřovalo 0,35% sody (Na_2CO_3) a 0,05% chloridu barnatého, které umožnilo snížit výchozí obsah síry o 30 až 50%. Jdnostupňové metalurgické zpracování tvořila modifikace s 0,6 až 0,65% hořčíku nebo elektronového odpadu společně s očkováním 0,6% FeSi75. Ty byly umístěny ve zvonu, který byl ponořován pod hladinu taveniny v pánvi, zakryté víkem. Vlivem bouřlivé reakce při modifikaci odcházelo často k výhozu litiny z pánve. Po stažení strusky se odlévalo přímo z modifikační pánve.

Navržené složení vsázky dávalo průměrný obsah 0,50 až 0,60% Mn, takže struktura v litém stavu byla převážně perlitická s nízkou tažností. K dosažení feritické struktury a zvýšení tažnosti se provádělo vysokoteplotní feritizační žíhání na 900 až 925°C.

Mezi prvými odlitky byly hlavně ložiskové pánve a jiné součásti pro běžné strojírenské použití, převážně do hmotnosti cca 50kg, původně odlévané z oceli, na které nebyly vysoké pevnostní požadavky. Jako zkušební odlitky se dodávaly i klikové hřídele pro automobilní motory, jejich trvalá výroba však nebyla zavedena. Podobně to bylo později s pístními kroužky. Odlitky byly převážně jen pro interní potřeby podniku. Od roku 1953 se modifikace prováděla v ochranné kabině s odsáváním, kam se zavážela pánve. Tím se podstatně zlepšily provozní podmínky výroby. O výhodách tvárné litiny a o provozních výsledcích výroby odlitků z tohoto materiálu referoval ve svých přednáškách F.Mařan. V roce 1957 byly kuplovný rekonstruovány na horkovetrné instalaci rekuperátoru, tehdy prvního v Československu. Předehřátím dmýchaného vzduchu na cca 300°C se zvýšila teplota litiny, snížila spotřeba koksu a současně snížil obsah síry ve výchozí litině.

Zkoušky výroby tvárné litiny modifikací čistým hořčíkem v přetlakové pánvi začaly roku 1965. Modifikační pánve hruškovitého tvaru o aktivním obsahu 1500kg litiny vyzdéná šamotem měla odnímatelné hrdlo, na něž se nasazovalo víko s manometrem, pojistným ventilem a kohoutem. Na boční stěně válcové části pánve byla modifikační komora pro náplň dávky modifikátoru. Po přípravě se pánve předehřívala plynovým hořákem nebo prolitím tekutou litinou na teplotu 500 - 700°C.

Podle výsledků provedených zkoušek se nejlépe osvědčilo předběžné odsíření a způsob jednostupňové modifikace s očkováním. Do předehřáté pánve v ležaté poloze se přes násypku nasypalo do komory 0,3% modifikátoru (Mg) společně s 0,3% očkovačkou (FeSi75). K odsíření se do pánve vhodilo 0,25% sody. V této poloze se pánve převezla pod žlábek kuplovný a napustila asi 1500kg litiny o teplotě cca 1345°C. Po naplnění litinou se pánve uložila na stojan a uzavřela víkem. Ručním kolem převodového ústrojí se otočila do svislé polohy, tím došlo ke styku modifikátoru s taveninou a probíhala modifikační reakce v uzavřeném prostoru. Po skončení reakce se pánve znovu sklopila do vodorovné polohy, otevřením kohoutu se uvolnil přetlak vytvořených plynů a sejmulo se víko. Pak se stáhla struska a odlévalo se přímo z této pánve za teplot 1265 - 1245°C.

Výhodou tohoto způsobu modifikace bylo to, že reakce probíhala v uzavřeném prostoru, kde nevznikal žádný rozstřík taveniny, nevznikaly zplodiny v takovém rozsahu, aby musely být odsávány, zvýšilo se využití modifikátoru a umožnilo se zvýšit množství litiny.

Nevýhodou byla značná pracnost přípravy pánve, obtížné stahování strusky i horší manipulovatelnost s pánví při odlévání, jakož i nebezpečí naplynění litiny. Nakonec se používala upravená varianta, že se modifikovalo 1300kg litiny, které se pak přelilo do lící pánve, do níž bylo předem napuštěno 400kg litiny přímo z kuplovný.

Po stránce technologické provádělo se odlévání do syrových forem z bentonitové směsi příp. povrchové přesušení. Osvědčilo se používání nálitků s exotermickým obkladem, většina nálitků měla podnálitkovou vložku na urážení, jinak se nálitky mechanicky řezaly.

V roce 1967 byl tento způsob ve spolupráci s pracovníky Výzkumného a zkušebního ústavu nahrazen jednostupňovou modifikací taveniny hořčíkovou předslutinou FeSiMg8 polévacím způsobem „SANDWICH“ (s modifikační komůrkou ve dně pánve). Modifikace litiny čistým hořčíkem ve zvonu se prováděla v ochranné kabině vytvořené ve vyzděné jámě. K potřebnému snížení obsahu křemíku ve vsázce se začalo používat ocelářské železo sovětské výroby vybraného složení. Takto bylo vyráběno do konce roku 1967, kdy byla ukončena výroba v této slévárně pro jiné v té době důležitější úkoly. K obnovení výroby odlitků z tvárné litiny došlo až po roce 1990.

Od roku 1968 byla výroba tvárné litiny přeložena z pobočné plzeňské slévárny do slévárny litiny v Rokycanech, která organizačně také spadala do závodu Hutě. Způsob výroby tvárné litiny s použitím ocelářského surového železa byl přihlášen k patentování, přihláška vynálezu však byla zamítnuta. Již po půl roční zkušební době se podařilo dosáhnout ještě lepších kvalitativních výsledků než v dřívějších podmínkách.

Během další doby se výroba tvárné litiny rozšířila i na těžší a složitější odlitky o hmotnosti do 1000 kg, zejména pro součásti těžkých obráběcích strojů jako opěry, součásti elektrických lokomotiv, převodových zařízení, parních turbin i různých odlitků pro externí odběratele. Bylo také odlito několik ocelářských kokil o hmotnosti 4500 kg. Rozsah výroby odlitků z tvárné litiny se pohyboval mezi 50ti a 100 tuny ročně. Odlitky byly převážně feritizačně žilány.

Hlavním problémem výroby byla jako dříve relativně nízká teplota litiny, která omezovala sortiment vyráběných odlitků. Zvýšení rozsahu výroby bránily i tehdejší režijní přírážky a cenové předpisy, které činily výrobu odlitků z tvárné litiny nerentabilní, přestože náklady na tekutý kov byly ve srovnání s jinými slévárnami nižší [5]. Tato výroba s malými obměnami trvala do roku 1989, kdy byla zastavena.

Začátkem devadesátých let byla výroba tvárné litiny opět částečně obnovena, ale roku 1995 došlo k ukončení veškeré výroby ve slévárně.

Po předchozích ověřovacích zkouškách v roce 1986 byla zahájena výroba větších odlitků z tvárné litiny ve slévárně oceli, kde litina byla tavena v elektrických obloukových pecích o obsahu 5 a 10t. Jednou z prvních zakázek byly tři série (96 ks) odlitků převodových skříní o hrubé hmotnosti 600 až 3500 kg. Při tavení byl použit syntetický způsob s použitím surového železa s nízkým obsahem Mn a jednostupňová modifikace polévací metodou s využitím předslitiny FeSiMg8. K zajištění nutného rychlého přelití do pánve musel být odpichový otvor zvětšen.

V pobočné slévárně oceli, zvané kuličkárna, se prováděly od sedmdesátých let tavby tvárné litiny v indukčních pecích o obsahu 250 a 850 kg, jednalo se převážně o ojedinělé vývojové tavby pro menší odlitky a speciální použití. Trvale se tam zavedla výroba odlitků pro součásti horkých jaderníků z perlitické tvárné litiny legované 0,8%Cu [6, 7]. Výroba v této slévárně byla ukončena v roce 1996 a byla nahrazena výrobou na dvou nově dostavěných 10t středofrekvenčních elektrických indukčních pecích a jedné 1t vysokofrekvenční indukční peci. Čímž se otevřela cesta k výrobě jakostnější šedé litiny, a především realizace výroby litiny s kuličkovým grafitem. Protože nebyly zkušenosti s odléváním podobných odlitků z tvárné litiny, během výroby se slévárenská technologie postupně dotvářela. Zásadně byla volena orientace polohy odlitků ve formě jako u šedé litiny, tj. příruba a ložiska dospod. Většina forem byla z vazné formovací směsi s vodním sklem, jádra ze samotvrdnoucí směsi. Kromě výfuků byly použity v tepelných uzlech v horní části postranní fláliky, ve spodní části chladítka. Velká pozornost byla věnována odvzdušnění forem [8], jakož i konečné kontrole odlitků.

3 SOUČASNÝ STAV VÝROBY TVÁRNÉ LITINY VE SLÉVÁRNĚ PILSEN STEEL

Pro další rozvoj výroby náročných a těžkých odlitků z tvárné litiny bylo nutné se věnovat také otázkám metalurgické jakosti taveniny, která značně ovlivňuje objemové změny při smršťování tuhnoucího odlitku a nové technologii. Metalurgická jakost v příznivém případě umožňuje úsporné nálitkování odlitků a tím dosažení zvýšeného technologického využití tekutého kovu i snížení nákladů na odstranění nálitků [9].

Postupem doby a současným vývojem technologie se zvýšila jak jakost litiny tak schopnost nabídnout a vyrobit odlitky mnohem větších rozměrů a tonáže. Celkové chemické složení bylo a je stále sledováno pomocí spektrální analýzy a pro sledování jakosti tvárné litiny zde bylo zavedeno sledování taveniny pomocí termické analýzy přístrojem Multi-Lab, což byl významný krok k výrobě tvárné litiny. Odlitky z tvárné litiny do 60t jsou vyráběny na elektrických indukčních pecích (EIP) a s tonáží nad 60t jsou odlitky vyráběny s pomocí elektrických obloukových pecí (EOP) s následnou rafinací na zařízení ASEA. U odlitků ze šedé litiny je hranice jež dokážeme natavit na EIP bez pomoci EOP 70t.

V dnešní době je do vsázky na tvárnou litinu používáno surové železo, ocelový odpad ve formě hlubokotažného paketo vaného plechu, vlastní vrat z TL, nauhličovadlo pro TL. Vzájemný poměr surovin volí tavbyvedoucí dle skutečného chemického složení surovin. S ohledem na používané lící pánve (obr.4, 5) jsme nuceni používat k modifikaci tzv. přelévací metodu „Sandwich“. Nejčastěji používanou Mg-předslitinou je FeSiMg4-7, ta je překryta např. FeSi75 a navrch je nasypána vrstva špon z TL a nebo ocelových plíšků o vhodné kusovosti. Po dohotovení tavby je proveden odpich při teplotě pohybující se kolem 1500°C. Teplota lití odlitku se pohybuje v závislosti na tloušťce stěny odlitku.

V roce 1993 vedení společnosti ŠKODA HUTĚ (dále ŠH) rozhodlo o zahájení prací na kvalifikaci pro výrobu kontejneru CASTOR 440/84 (obr.1), což je odlitek o surové hmotnosti 130t. Po schválení dokumentace byl v roce 1994 odlit první zkušební kus, ale krátce po odlití však došlo vlivem vnitřního pnutí v kokile k jejímu porušení a vylití části ještě tekutého kovu.

Po změně materiálu kokily byl v roce 1995 odlit další kus, výroba kontejneru probíhala dle plánu výrobních operací až do operace ověřování mechanických hodnot. Vzhledem k výsledkům těchto zkoušek bylo rozhodnuto o tepelném zpracování odlitku. Po opětovné

kontrola mechanických hodnot bylo nutno tepelné zpracování opakovat. Zástupci přejímacích společností s tímto postupem však nesouhlasili a nepovolili proto pokračovat v dalších výrobních operacích.

Po dvouleté přestávce, kdy byly analyzovány negativní metalurgické vlivy na strukturu odlitku byl odlit třetí zkušební kontejner. Při odlévání však došlo k pronikání plynu přes vrškovou část odlitku, což se projevilo sníženými mechanickými hodnotami v narušené části odlitku. Po tomto třetím neúspěšném pokusu o odlití kvalifikačního kusu byly kvalifikace zastavena.

V roce 2002 nové vedení společnosti rozhodlo o pokračování v kvalifikaci a po úspěšném odlití a vyzkoušení čtvrtého zkušební kontejneru se ŠH kvalifikovala jako výrobce kontejnerů pro vyhořelé palivo CASTOR 440/84. Tento typ je vyráběn převážně pro německý trh. ŠH vyrobila během pěti let 24ks těchto odlitků, z nichž jeden byl vyhodnocen jako neshodný. Neshodou bylo zvýšené množství nepravidelného grafitu na vzorcích odebíraných z podélného vývrtu.

V roce 2005 ŠH získala zakázku na 15ks kontejnerů CASTOR 440/84 s termínem dodání posledního září 2006. Během realizace této zakázky došlo k značnému zvýšení výrobní jistoty, což se projevilo stabilními výsledky prováděných zkoušek. To vedlo po odsouhlasení německé společnosti k omezení počtu zkoušených vývrtů i z nich vyráběných zkoušek.

V první polovině roku 2005 ŠH zahájila, jako jediný výrobce, výrobu kontejneru CASTOR 440/84M, který je určen výhradně pro český trh (mezisklad Dukovany). Při auditu společnosti GNS konaném v květnu 2005 byla ŠH shledána kvalifikovaným výrobcem.

Modifikovaného typu kontejneru CASTOR 440/84M bylo odlito prozatím devět kusů a z čehož 7 z nich bylo prohlášeno za vyhovující a zbylé dva jsou zatím zkoušeny. V současné době probíhá uznání ŠH certifikovaným výrobcem materiálu pro jadernou energetiku. Tato certifikace mimo jiné znamená i omezení počtu prováděných zkoušek.

4 ZÁVĚR

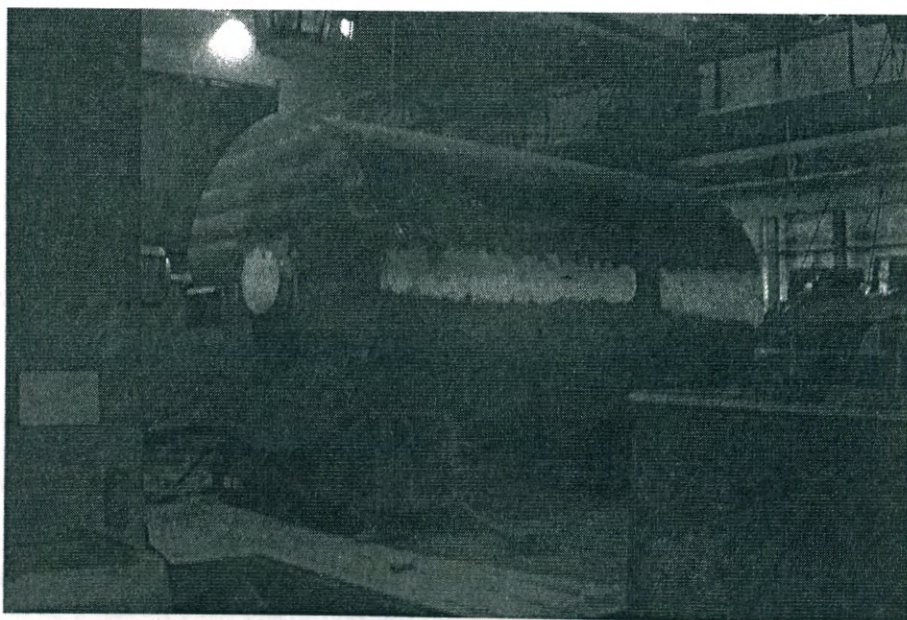
Závěrem lze konstatovat, že relativně malý rozsah 40ti-leté výroby odlitků z tvárné litiny ve slévárnách podniku ŠKODA Plzeň do konce osmdesátých let byl ovlivněn hlavně potřebou zajišťovat přednostně odlitky pro výrobní program vlastního podniku, který se vyznačoval specifickým charakterem výrobků.

Velký rozvoj výroby těžkých odlitků z tvárné litiny nastal po roce 1990, kdy na počátku devadesátých let se pohyboval poměr mezi šedou a tvárnou litinou zhruba 75% výroby šedé litiny a 25% výroby litiny tvárné. Postupem času a získávání nových zkušeností a nových zakázek se tento poměr mezi oběma druhy litiny pomalu srovnal a dá se říci že se tvárná litina pomalu dostává do popředí v poměru 60% tvárná litina a 40% šedá litina. Roční produkce litiny kupříkladu za rok 2005 činila 9,4 kilotun, za rok 2006 to bylo 12,8 kilotun a předpokládaný výhled na rok 2007 činí 10 kilotun, kde do výčtu tohoto množství můžeme např. uvést výrobu mohutných bloků válců lodních motorů o hmotnosti až 30 t, mnoha tunové díly obráběcích strojů (obr.2, 3) a v neposlední řadě díly větrných elektráren.

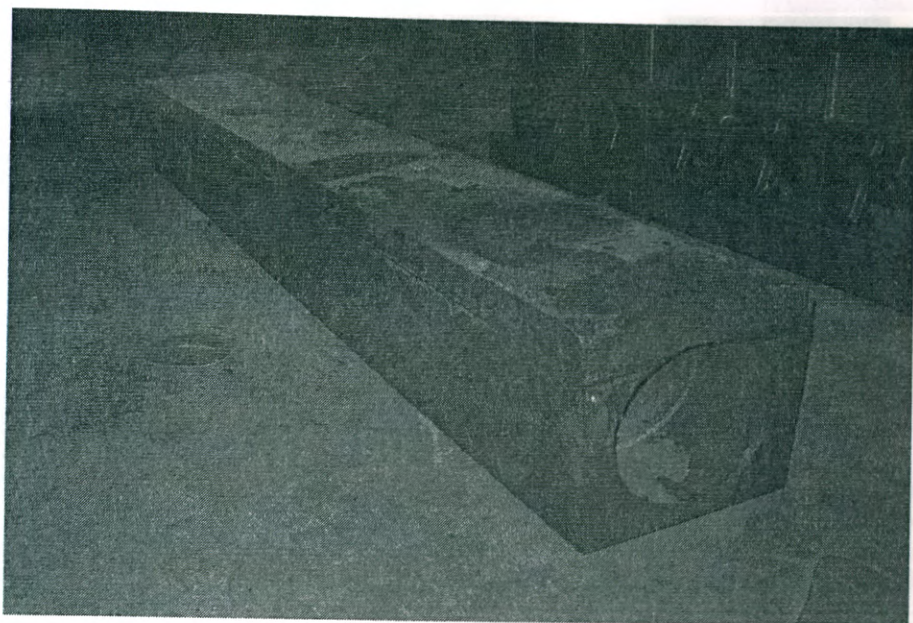
LITERATURA

- [1] PLACHÝ J. - OTÁHAL V.: Jakostní litiny. Praha, SNTL 1956
- [2] CHVORINOV, N.: Ovládání tvaru grafitu v šedé litině.
- [3] Dokumentace o výrobě odlitků z tvárné litiny v závodě Hutě.
- [4] MAŘAN, F.: Výzkum nodulární litiny
- [5] HUČKA, J.: Příspěvek k ekonomii výroby odlitků z tvárné litiny Škoda Plzeň, Závod Hutě.
- [6] BEČVÁŘ, J. – VONDRÁK, J. – HUČKA, J.: Modelová zařízení pro metodu horkých jaderníků
- [7] HUČKA, J. – HÁLA, M.: Použití tvárné litiny pro výrobu součástí horkých jaderníků
- [8] HUČKA, J. - HÁLA, M. - NOVOBILSKÝ, J. - NOVOTNÝ, V.: Výroba odlitků převodových skříní z tvárné Litiny. In: Sborník konference Výroba těžkých litinových odlitků, Plzeň 1988
- [9] NOVOBILSKÝ, J. – NOVOTNÝ, V. – HUČKA, J. – KRÁL, J.: Faktory ovlivňující aplikaci úsporných metod nalitkování odlitků z tvárné litiny a jejich vztah k užitným vlastnostem. Škoda Plzeň.

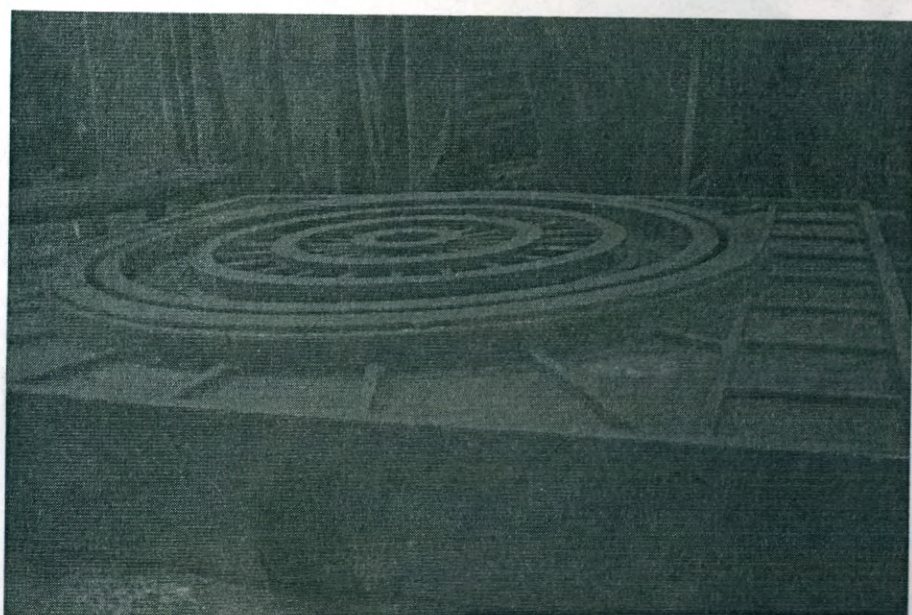
OBRAZOVÉ PŘÍLOHY



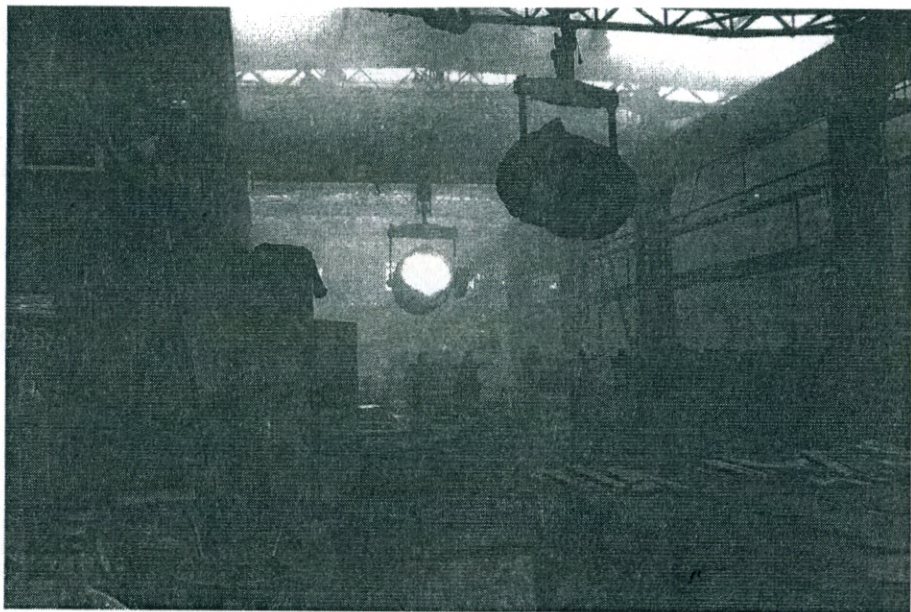
obr.1 Odlitek kontejneru CASTOR 440/84M (GGG40; 120tun)



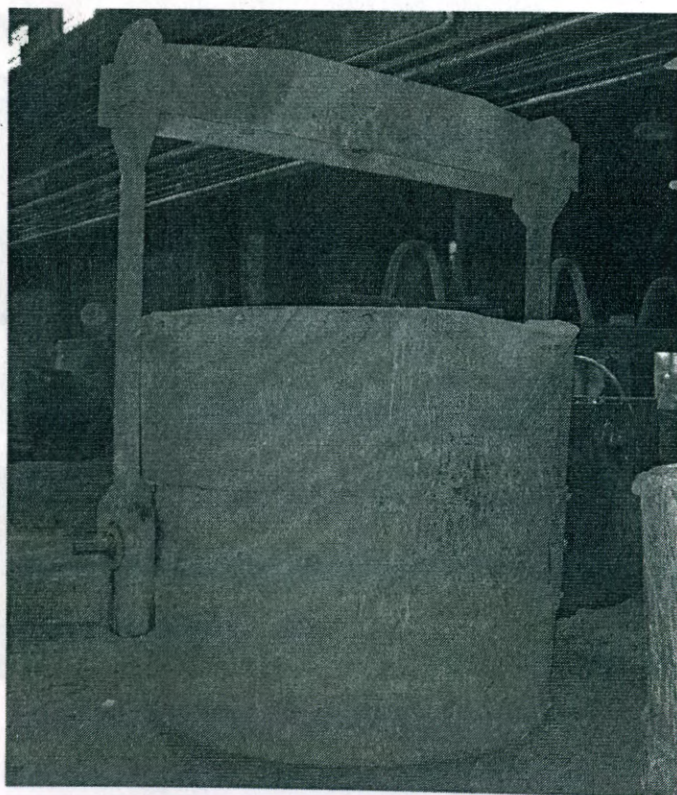
obr.2 Pinola pro Škoda Machine Tool, (GGG60; 8tun)



obr.3 Upínací deska pro ŠMT (GGG60; 48tun)



obr.4 Přesun prázdných licích pánví po odlití



obr.5 Pánev s hubičkou na 15t